

## Исследование СВЧ установки с тороидальными резонаторами для отделения волосяного покрова от шкуры кроликов в непрерывном режиме

|                                 |                            |
|---------------------------------|----------------------------|
| Евгений А. Шамин <sup>1</sup>   | evg.shamin4@gmail.com      |
| Галина В. Новикова <sup>1</sup> | NovikovaGalinaV@yandex.ru  |
| Марьяна В. Белова <sup>1</sup>  | maryana_belova_803@mail.ru |
| Ольга В. Михайлова <sup>1</sup> | ds17823@yandex.ru          |

<sup>1</sup> Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, ул. Октябрьская, д. 22, г. Княгинино, 606340, Россия

**Реферат.** В кролиководческих хозяйствах сбор волосяного покрова со шкур кроликов породы «Белый Великан», является актуальной проблемой. Поэтому технической задачей является разработка установки, обеспечивающей ослабление силы удерживаемости волосяного покрова в дерме увлажненных рассолом шкур кроликов за счет многократного воздействия электромагнитного поля сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ) и пневмотранспортирование пуха. Разработана научная идея, предусматривающая тепловую обработку шкуры кроликов многократным воздействием ЭМП СВЧ в тороидальных перфорированных резонаторах в непрерывном режиме. Предложен нетрадиционный подход к конструкционному исполнению резонаторных камер СВЧ установок с маломощными магнетронами, обеспечивающих многократное воздействие ЭМП СВЧ на сырье для снижения его микробиологической обсемененности. Доказана перспективность предложенных технических решений и способов воздействия ЭМП СВЧ на шкуры кроликов в непрерывном режиме, основываясь на обоснованные параметры электродинамической системы СВЧ-установок с тороидальными резонаторами, имеющими рациональные конструктивно-технологические параметры и режимы работы. Разработанная сверхвысоко частотная установка с тороидальным резонатором обеспечивает получение новых результатов в достижении непрерывности технологического процесса отделения волосяного покрова от кожи шкур кроликов в процессе распыления рассола, высокой напряженности электрического поля и собственной добротности резонатора, равномерности нагрева сырья в резонаторе; вариации производительности установки. Основными узлами являются направляющая труба, тросо-шайбовый транспортер, тороидальные резонаторы и пневмотранспортер. Магнетроны установлены в центральные части резонаторов, а в тороидальной части, средний периметр которой равен кратной половине длины волны, имеется перфорация. Представлены предложения по дальнейшему совершенствованию СВЧ установок для отделения волосяного покрова от шкур кроликов в непрерывном режиме с использованием системы автоматизированного управления и контроля технологическим процессом.

**Ключевые слова:** сверхвысоко частотные генераторы, тороидальные резонаторы, тросо-шайбовый транспортер, ослабление силы удерживаемости волосяного покрова, шкуры кроликов, рассол

## Study of microwave device with toroidal resonators for the removal of hair cover from rabbit skin in a continuous mode

|                                 |                            |
|---------------------------------|----------------------------|
| Evgene A. Shamin <sup>1</sup>   | evg.shamin4@gmail.com      |
| Galina V. Novikova <sup>1</sup> | NovikovaGalinaV@yandex.ru  |
| Mariana V. Belova <sup>1</sup>  | maryana_belova_803@mail.ru |
| Olga V. Mikhailova <sup>1</sup> | ds17823@yandex.ru          |

<sup>1</sup> Nizhny Novgorod state engineering-economic University", Oktabrskaya, 22, Knyaginino, Nizhny Novgorod region, 606340, Russia

**Summary.** In rabbit breeding farms, collecting hair from the skins of "White Giant" breed rabbits is an actual problem. Therefore, the technical task is to develop a device providing a weakening of the hair cover retention in the dermis of brine-moistened rabbit skins by the multiple exposure of the electromagnetic field of the ultrahigh frequency (EMFUHF) and pneumatic conveying of the fluff. The scientific idea involving the heat treatment of rabbit skin by repeated exposure to EMFUHF in toroidal perforated resonators in continuous mode was developed. A non-conventional approach to the design of resonator chambers of microwave devices with low-power magnetrons, providing for the repeated exposure of EMFUHF to raw materials to reduce its microbiological contamination was proposed. The prospective nature of the proposed technical solutions and methods for the impact of EMFUHF on rabbit skins in continuous mode, based on sound parameters of the electrodynamic system of microwave devices with toroidal resonators, having rational design and technological parameters and operating modes was proved. The developed ultrahigh-frequency device with the toroidal resonator provides for new results in achieving the continuity of the technological process of removing the hair cover from the rabbit skins during the brine spraying on the skins, high electric field strength and the resonator's own Q-factor, the uniformity of the raw material heating in the resonator; variations in the device capacity. The main components are a guide tube, a cable-washer conveyor, toroidal resonators and a pneumatic conveyor. Magnetrons were installed in the central parts of the resonators, and in the toroidal part, whose average perimeter is equal to a multiple of half the wavelength, there is a perforation. Proposals for the further improvement of microwave equipment for the removal of hair from rabbit skins in a continuous mode using the system of automated control and process control were submitted

**Keywords:** microwave generators, toroidal resonators, conveyor, skinning rabbits, brine

### Введение

В настоящее время в фермерских хозяйствах шкуры кроликов после съемки сразу утилизируют или направляют в цеха по производству белковых корм, так как очень низкий сбыт обработанных, в условиях хозяйств, шкур. Волосяной покров, собранный со шкур кроликов,

является ценным сырьем для легкой промышленности, и от способа сбора во многом зависит качество пушно-мехового изделия [14–18]. Основную часть массы шкуры кроликов составляет масса волосяного покрова. Отношение массы волос к массе мездры у шкурок первого сорта составляет 2:1. Шкуры кроликов «Белый Великан» имеют на единицу площади наибольшую

Для цитирования

Шамин Е.А., Новикова Г.В., Белова М.В., Михайлова О.В. Исследование СВЧ установки с тороидальными резонаторами для отделения волосяного покрова от шкуры кроликов в непрерывном режиме // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 1. С. 43–49. doi:10.20914/2310-1202-2018-1-43-49

For citation

Shamin E.A., Novikova G.V., Belova M.V., Mikhailova O.V. Study of microwave device with toroidal resonators for the removal of hair cover from rabbit skin in a continuous mode. *Vestnik VGUET* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 1. pp. 43–49. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-1-43-49

массу, обладает наибольшей длиной волосяного покрова. Волосяной покров кроликов мясо-шкурковых пород содержит от 30 до 50% пуховых волос [11].

Известные способы обезволаживания шкур животных с применением солей, щелочей, сульфидов и ферментного препарата [12–13] – длительны и качество пуха низкое и поэтому не удовлетворяют кролиководческие хозяйства.

При тепловой обработке шкуры кроликов, сила удерживаемости волокон пуха в дерме и волосяных луковицах уменьшается, и сбор их облегчается [4]. Но при превышении температуры нагрева кожи и ее продолжительности, увеличивается повреждение кожи и ухудшается товарный вид волосяного покрова. Поэтому тепловую обработку сырья следует проводить микроволновой технологией при оптимальном режиме, обеспечивающем достаточное ослабление удерживаемости волосяного покрова в дерме и не вызывающем ухудшения их качества [9–10]. При этом действию тепла избирательно подвергаются не только эпидермис, дерма и подкожный слой жира, но и луковица волос. Эффективность воздействия электромагнитного поля сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ) определяется температурой нагрева дермы и подкожного слоя, где расположены луковицы волос.

Предлагаемая микроволновая технология ориентирована на отделении волосяного покрова от вымоченной в рассоле кожи шкур кроликов, в процессе воздействия ЭМП СВЧ в непрерывном режиме.

### Материалы и методы

Использован комплекс существующих методов исследования, в том числе: теория ЭМП СВЧ; программа CST MicrowaveStudio для трехмерного моделирования резонаторной камеры с вычислением параметров электродинамической системы. Теоретические исследования проводились на основе анализа электрофизических параметров многокомпонентного сырья с использованием математических аппаратов. Пространственное изображение установки выполнено в программе Компас-3D V17. Определение закономерностей отделения волосяного покрова от шкур кроликов проведено на основе дифференциального уравнения по методике К.К. Пономарева. Сырьем для исследования является шкура кроликов породы «Белый Великан».

### Результаты и обсуждение

Блок схема базовых СВЧ установок содержит в основном семь элементов:

— источник питания, обеспечивающий преобразование сетевого напряжения в высоковольтное напряжение, необходимое для работы магнетрона (высоковольтный выпрямитель или

повышающий трансформатор с регулятором напряжения, и устройство для питания накала и др.);

— СВЧ генератор, преобразующий мощность сетевой частоты в мощность СВЧ диапазона;

— линии передачи и устройство ввода СВЧ энергии в резонаторную камеру;

— электродинамическая система резонаторной камеры, обеспечивающая заданное распределение СВЧ энергии в ее объеме;

— вспомогательные элементы, способствующие достижению равномерного нагрева сырья;

— устройства для предотвращения утечки СВЧ энергии из установки в окружающее пространство; пульт управления [8].

Известно, что для электромагнитных волн сантиметрового диапазона в качестве колебательной системы используют объемные резонаторы. Геометрическую форму и тип колебаний выбирают исходя из технологичности изготовления резонатора, возможности настройки, получения максимальной добротности и желаемой конфигурации поля. При этом элемент связи (штырь) следует размещать параллельно линиям электрического поля, там, где максимальная напряженность [8].

Нами разрабатываются резонаторные камеры, обеспечивающие непрерывность технологического процесса, высокую напряженность электрического поля при равномерном распределении сверхвысокочастотной энергии в ее объеме и высокую собственную добротность [1–3, 5].

При этом необходимо выявить динамику процесса с учетом изменения во времени диэлектрических и теплофизических параметров сырья, рассчитать конфигурацию и размеры объемного резонатора в соответствии с длиной волны и критической напряженностью электрического поля, определить количество источников и их расположение в рабочей камере.

Предлагаемая нами технология сбора пуха происходит за счет ослабления силы удерживаемости волосяного покрова в дерме кожи, в процессе передвижения шкуры с помощью тросо-шайбового транспортера, через тороидальный резонатор СВЧ установки. Распаренная шкура рассолом в ЭМП СВЧ создает такие условия, что происходит смягчение кожи, расширение пор, быстрое разрушение волосяных луковичек и освобождение волос.

Поэтому СВЧ установку проектируем с тороидальными резонаторами, где источник СВЧ энергии (излучатель) расположен в центральной части, выполненной в виде параллельно расположенных плоских колец, на расстоянии больше чем четверть длины волны, а средний периметр тороидальной части резонатора равен кратной половине длины волны. Такое исполнение обеспечит бегущую волну и высокую напряженность электрического поля.

Известно, что тороидальный резонатор и кольцевой резонатор – это резонаторы бегущей волны [8]. Условием резонанса в тороидальном резонаторе будет равенство фаз первичной волны и волны, которая обошла резонатор по периметру кольца, т. е., периметр кольца должен быть равен целому числу длин волн. Тогда в резонаторе устанавливается режим бегущей волны [6].

Основные узлы СВЧ установки (рисунок 1) расположены на монтажном каркасе. Это пневмонасос, шкаф управления, электродвигатель привода тросо-шайбового транспортера. Направляющая труба 1 для тросо-шайбового транспортера установлена под наклоном. Она собрана из отдельных труб из неферромагнитного материала и муфт 7, выполненных из диэлектрического материала и они перфорированы. Внутри направляющей трубы расположен тросо-шайбовый транспортер 9. На направляющую трубу соосно надеты тороидальные резонаторы 4 круглого сечения через равные промежутки. Каждый тороидальный резонатор выполнен из двух частей: тороидальной и центральной части 5. Причем нижняя часть тора перфорирована, а к центральной части 5 тороидального резонатора

установлен магнетрон 3, так, что излучатель направлен внутрь перфорированной муфты 7. Центральная часть 5 каждого тороидального резонатора 4 выполнена в виде параллельно установленных плоских колец. Расстояние между кольцами должно быть больше, чем четверть длины волны для возбуждения волны и обеспечения высокой напряженности электрического поля, при которой происходит обеззараживания сырья при многократном воздействии ЭМП СВЧ. Необходимо также обеспечить отношение продолжительности воздействия ЭМП СВЧ к продолжительности цикла технологического процесса (скважность) меньше 0,5. Диэлектрическая перфорированная муфта 7 состыкована между трубами из неферромагнитного материала, соосно. К трубам присоединены распылители рассола 8. Средний периметр тороидального резонатора равен кратной половине длины волны. К диэлектрическому тросу прикреплены диэлектрические шайбы 9, с ее периферийной стороны. По концам направляющей трубы 1 имеются патрубки: загрузочный 2 и выгрузной 10. К выгрузному патрубку прикреплен пневмопровод, с перфорированной стороны.

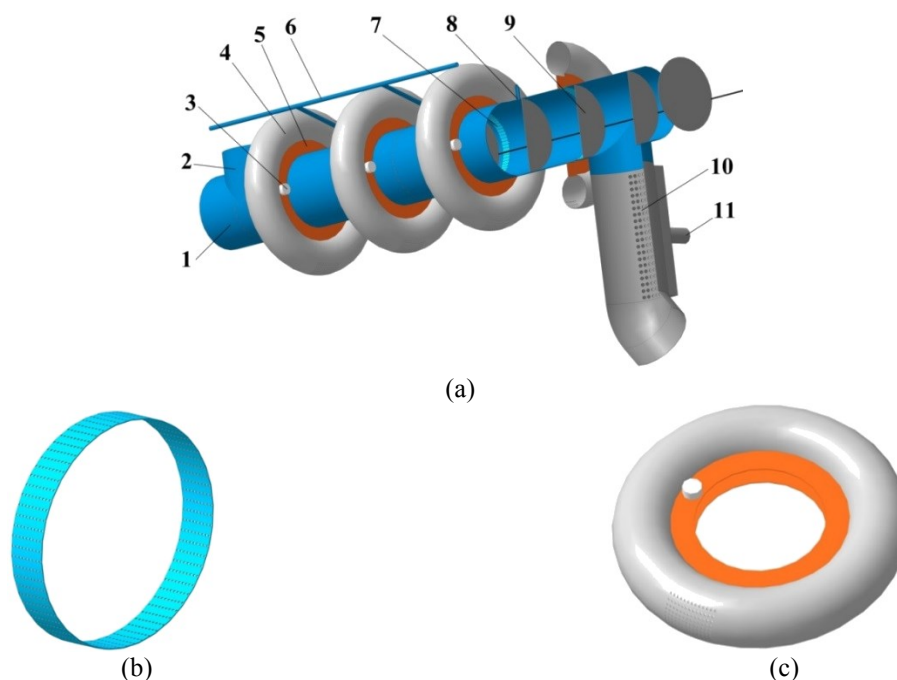


Рисунок 1. СВЧ установка с тороидальными резонаторами для отделения волосяного покрова от кожи шкур кроликов в процессе распыления рассола: (а) общий вид в разрезе; (б) диэлектрическая перфорированная муфта; (с) тороидальный резонатор; 1 – направляющая труба тросо-шайбового транспортера; 2 – загрузочный патрубок; 3 – магнетрон; 4 – тороидальные резонаторы; 5 – центральная часть тороидального резонатора; 6 – трубопровод для подачи рассола; 7 – муфты перфорированные, диэлектрические; 8 – распылители рассола; 9 – тросо-шайбовый транспортер, диэлектрический; 10 – выгрузной патрубок перфорированный; 11 – пневмопровод

Figure 1. Microwave setup with toroidal resonators for separating hair from skin skins of rabbits in the process of spraying brine: (a) General view; (b) a perforated dielectric coupler; (c) a toroidal resonator; 1 – guide tube crochets-washer conveyor; 2 – loading branch pipe; 3 – magnetron; 4 – toroidal resonators; 5 – the Central part of the toroidal resonator; 6 – pipe for supplying the brine; 7 – clutch perforated, dielectric; 8 – spray brine; 9 – crochets-washer carrier with a dielectric; 10 – unloading perforated pipe; 11 – pneumatic conduit

Технологический процесс сбора волосяного покрова со шкур кроликов в СВЧ установке, обеспечивающей ослабление силы удерживаемости волосяного покрова в волосяных луковицах, за счет избирательного нагрева составляющих шкуры в процессе распыления рассола, происходит следующим образом.

Включить электродвигатель привода тросо-шайбового транспортера 9, после чего тяговый орган шайбового транспортера перемещается в трубе 1. Включить насос для подачи рассола через трубопровод 6 к распылителю рассола 8. Загрузить в процессе движения шайб шкуры кроликов через загрузочный патрубок 2 в направляющую трубу 1. Включить СВЧ генераторы (магнетроны 3) по мере оказания сырья в соответствующих тороидальных резонаторах 4,5. Сырье распыленным рассолом подвергается многократному воздействию ЭМП СВЧ, избирательно нагревается, распаривается, и происходит полное разрыхление слоя эпидермиса. При этом ослабляется сила удерживаемости волосяного покрова в дерме кожи. Пух в процессе распаривания в рассоле легко выдергивается из волосяной луковицы. Остатки рассола стекают через перфорированные диэлектрические муфты 7 и перфорацию 6 торов в специальный поддон. В центральной части 5 тороидального резонатора образуется электрическое поле высокой напряженности, обеспечивающей обеззараживания волосяного покрова. Отделенный от дермы волосяной покров при незначительном давлении высасывается с помощью пневмонасоса через пневмопровод 11, установленный в конце выгрузного патрубка 10, где имеется перфорация. При этом сохраняются прочностные свойства волосяного покрова.

Производительность установки зависит от количества СВЧ генераторов и их мощности, от продолжительности нахождения шкуры в резонаторной камере, вида и размера шкур, от концентрации солевого раствора, и от удельной дозы воздействия ЭМП СВЧ.

Для определения закономерности отделения волосяного покрова со шкуры кроликов составлены дифференциальные уравнения по методике К.К. Пономарева [7]. Для этого считаем что шкура А под воздействием ЭМ СВЧ и рассола распадается на два вещества Р (волосяной покров) и Q (кожу). Скорость образования каждого из этих составляющих пропорциональна количеству неразложенного вещества (шкуры). Пусть  $y$  и  $x$  – это масса волосяного покрова (Р) и кожи (Q), образовавшиеся к моменту  $t$ . Известно, что масса шкуры кролика составляет 400–450 г., а масса волосяного покрова – в пределах от 150 до 250 г.

Предварительные эксперименты показывают, что из одной шкуры кролика «Белый Великан» за 450 секунд обработки в ЭМП СВЧ отделяется пух в пределах 180 г., если температура нагрева вымоченной рассолом кожи достигает 62 °С, если рабочая камера содержит один генератор. В случае использования трех генераторов продолжительность обработки составит 150 с.

Определяем выражения, описывающие изменения массы отделенного от мездры волосяного покрова в процессе воздействия ЭМП СВЧ. Считаем, что в начальный момент  $x = 0$ ,  $y = 0$ , а через  $t = 150$  с,  $x = \frac{5 \cdot c}{10}$ ,  $y = \frac{2 \cdot c}{5}$ , где  $c$  – первоначальная масса вещества А.

В момент  $t$  скорости образования пуха Р и кожи Q будут [7]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= k_1(c - x - y), \\ \frac{dy}{dt} &= k_2(c - x - y), \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

К этому моменту масса неразложившегося еще вещества А равно  $c - x - y$ .

Дифференцируя (1), получим:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -k_1 \cdot \left( \frac{dx}{dt} + \frac{dy}{dt} \right) \quad (2)$$

Подставляя в уравнение (2) значение  $\frac{dy}{dt}$  из второго уравнения системы (1), получим:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -k_1 \cdot \left[ \frac{dx}{dt} + k_2 \cdot (c - x - y) \right]. \quad (3)$$

Исключая значение  $y$  из уравнения (3) и первого уравнения системы (1), находим:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + (k_1 + k_2) \frac{dx}{dt} = 0. \quad (4)$$

Уравнение (4) является однородным линейным уравнением 2-го порядка [7]. Общее решение уравнение (4) составляем в виде:

$$x = C_1 + C_2 \cdot e^{-(k_1 + k_2) \cdot t}. \quad (5)$$

Далее подставляем  $x$  и  $\frac{dx}{dt}$  в первое уравнение системы и решаем его относительно  $y$ , после чего получим решение системы:

$$\left. \begin{aligned} x &= C_1 + C_2 \cdot e^{-(k_1 + k_2) \cdot t}, \\ y &= c + \frac{k_2}{k_1} \cdot C_2 \cdot e^{-(k_1 + k_2) \cdot t} - C_1, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Используя начальные условия: при  $t = 0$ ,  $x = 0$  и  $y = 0$ , определим  $C_1$  и  $C_2$ . Далее получим выражения, описывающие графики изменения величин  $x$  и  $y$  в процессе обработки шкуры в СВЧ установке, т. е. накопления отделенного от дермы волосяного покрова:

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= \frac{k_1 \cdot c}{k_1 + k_2}, \\ C_2 &= -\frac{k_1 \cdot c}{k_1 + k_2} \end{aligned} \right\}, \quad (7)$$

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{k_1 \cdot c}{k_1 + k_2} \cdot [1 - e^{-(k_1 + k_2)t}], \\ y &= -\frac{k_2 \cdot c}{k_1 + k_2} \cdot [1 - e^{-(k_1 + k_2)t}]. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Коэффициенты  $k_1$  и  $k_2$  вычислим из предварительного эксперимента: при  $t = 150$  с,  $x = \frac{4 \cdot c}{10}$ ,  $y = \frac{2 \cdot c}{5}$ .  $k_1 = 0,01$ ,  $k_2 = 0,0068$ ,  $k_1 + k_2 = 0,0168$ .

Подставляя эти значения в равенство (8), находим выражения, описывающие скорость отделения волосяного покрова ( $y$ ) от кожи шкуры кролика

$$\begin{aligned} x &= 0,6 \cdot c \cdot (1 - e^{-0,0168t}), \\ y &= 0,4 \cdot c \cdot (1 - e^{-0,0168t}), \end{aligned} \quad (9)$$

где  $t$  – продолжительность обработки шкуры в ЭМПСВЧ, с;  $c$  – масса исходной шкуры, г.

График изменения массы отделенного волосяного покрова в процессе воздействия ЭМПСВЧ на шкуру кролика, показан на рисунке 2. Накопление массы пуха в процессе воздействия ЭМПСВЧ происходит по экспоненте. В течение 2,5 мин с каждой шкуры кролика можно собрать волосяной покров в пределах 160 г., если удельная мощность генератора составляет 5 Вт/г., т. е. при дозе воздействия 750 Вт×с/г.



Рисунок 2. График изменения массы отделенного волосяного покрова в процессе воздействия ЭМПСВЧ на шкуру кролика

Figure 2. Plot of mass separated by a hairline in the process of the impact of EMFUF on the skin of a rabbit

### Закключение

1. Разработана научная идея, предусматривающая тепловую обработку шкуры кроликов многократным воздействием ЭМПСВЧ в тороидальных перфорированных резонаторах в непрерывном режиме.

2. Предложен нетрадиционный подход к конструкционному исполнению резонаторных камер СВЧ установок с маломощными магнетронами, обеспечивающих многократное воздействие ЭМПСВЧ на сырье для снижения его микробиологической обсемененности.

3. Доказана перспективность предложенных технических решений и способов воздействия ЭМПСВЧ на шкуры кроликов в непрерывном

режиме, основываясь на обоснованные параметры электродинамической системы СВЧ-установок с тороидальными резонаторами, имеющими рациональные конструкционно-технологические параметры и режимы работы.

4. Разработанная установка с тороидальным резонатором обеспечивает получение новых результатов в достижении непрерывности технологического процесса, высокой напряженности электрического поля и собственной добротности резонатора, равномерности нагрева сырья в резонаторе; вариации производительности установки.

5. Представлены предложения по дальнейшему совершенствованию СВЧ установок

для отделения волосяного покрова от шкур кроликов в непрерывном режиме с использованием системы автоматизированного управления и контроля технологическим процессом.

### Возможные направления исследований

На основе стратегической программы исследований «СВЧ технологии», утвержденной 17.12.2012 г. Департаментом радиоэлектронной промышленности РФ, активно ведутся работы по созданию СВЧ установок. Тем не менее, анализ новейших разработок ведущих мировых производителей позволяет выявить основные

тенденции развития рынка СВЧ установок. Это устройства на основе алмазных структур, обладающих уникальными теплопроводными свойствами и радиогерметичностью.

Поэтому наша научная школа стремится создать широкую гамму объемных резонаторов, обеспечивающих радиогерметичность СВЧ установки при непрерывном технологическом процессе и снизить габаритные размеры, расширить диапазон рабочих частот, повысить стабильность режимных параметров в процессе эксплуатации.

### ЛИТЕРАТУРА

1 Белова М.В. Конструктивные особенности резонаторов сверхвысокочастотных установок для термообработки сырья в поточном режиме // Вестник Казанского государственного аграрного университета. Казань. 2015. № 4 (38). С. 31–37.

2 Жданкин Г.В., Новикова Г.В., Михайлова О.В. Разработка сверхвысокочастотной установки с передвижными резонаторами // Вестник НГИЭИ. 2017. № 2 (69). С. 61–71.

3 Жданкин Г.В., Сторчевой В.Ф., Зиганшин Б.Г., Новикова Г.В. Разработка и обоснование параметров многоярусной сверхвысокочастотной установки для термообработки влажного сырья в непрерывном // Научная жизнь. 2017. № 4. С. 4–14.

4 Ивашов В.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности. М.: Колос, 2001. 552 с.

5 Новикова Г.В., Жданкин Г.В., Михайлова О.В. Анализ разработанных сверхвысокочастотных установок для термообработки сырья // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2016. 4 (42). С. 89–93.

6 Пат. № 2629159 РФ, МПК А 23 N17/00. Сверхвысокочастотная установка с тороидальным резонатором и с ячеистым ротором для термообработки сырья / А.А. Белов, Г.В. Жданкин, Г.В. Новикова, О.В. Михайлова. Бюл. № 24. Заявл. 15.08.2016. Опубл. 24.08.2017. 10 с.

7 Пономарев К.К. Составление дифференциальных уравнений. Минск: Высшая школа, 1973. 558 с.

8 Стрекалов А.В. Электромагнитные поля и волны. М.: РИОР: ИНФРА-М, 2014. 375 с.

9 Шамин Е.А., Новикова Г.В., Зиганшин Б.Г. Технологии переработки мехового сырья кроликов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2017. № 3(45). С. 61–67.

10 Шамин Е.А., Зиганшин Б.Г., Новикова Г.В. Разработка микроволновых сушилок для пушно-мехового сырья // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2017. № 3(45). С. 86–90.

11 Комлацкий В.И., Логинов С.В. Эффективное кролиководство. Краснодар: КубГАУ, 2013. 224 с.

12 Описание способа снятия пуха для фетрового производства со шкурок кроликов и зайцев. URL: <http://www.findpatent.ru/patent/4/40499.html>.

13 Способ микробиологической обработки целлюлозосодержащего сырья. URL: <http://www.findpatent.ru/patent/3/35319.html>.

14 Tao Y.R. Studies on quality rex rabbit fur // World Rabbit Science. 1994. № 2(1). P. 21–24.

15 Petersen A. The influens of feeding on the chemical composition of carcasses and on pelt quality in the castor rex rabbit // World Rabbit Science. 1995. №3(3). P. 141–145.

16 Allain D., Rochambeu H., Vrillon J. The inheritance of wool quantity and live weight in the French Angora rabbit // Animal Science. 1999. № 68. P.441–447.

17 Colin M. Rabbit production in east European countries // World Rabbit Science. 1993. № 1. P. 37–52.

18 Hermann S., Lange K. Characteristics of angora rabbit fibre // World Rabbit Science. 1996. № 4. P. 155–158.

19 Дерканосова А.А. Анализ перспективы производства отечественных кормовых препаратов // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2012. № 2. С. 194–196.

### REFERENCES

1 Belova M.V. Design features of resonators of the microwave installations for heat treatment of raw materials in production mode. *Vestnik KazGAU* [Proceedings of the Kazan state agrarian University] 2015. no 4 (38). pp. 31–37. (I Russian)

2 Zhdankin G.V., Novikova G.V., Mikhailov O.V. the Development of microwave set key with mobile resonators. *Vestnik NGIEI* [Proceedings of NSEI] 2017. no 2 (69). pp. 61–71.

3 Zhdankin G.V., Storchevoy V.F., Ziganshin B.G., Novikova G.V. Development and substantiation of parameters of multi-tiered microwave installation for thermal treatment of moist raw materials in continuous. *Nauchnaya zhizn'* [Scientific life] 2017. no. 4. pp. 4–14. (I Russian)

4 Ivashov V.I. Tekhnologicheskoe oborudovanie [Technological equipment of enterprises of the meat industry] Moscow, Kolos, 2001. 552 p. (in Russian)

5 Novikova G.V., Zhdankin G.V., Mikhailov O.V. Analysis of the developed sverkhvysokochastotnoi installations for heat treatment of materials. *Vestnik KazGAU* [Proceedings of the Kazan state agrarian University] 2016. no 4 (42). pp. 89–93. (in Russian)

6 Belov A.A., Zhdankin G.V., Novikova G.V., Mikhailov O.V. Sverkhvysokochastotnaya ustanovka s toroidal'nym rezonatorom [Microwave installation with toroidalizing a resonator with honeycomb rotor for heat treatment of raw materials] Patent RF, no. 2629159, 10 p. (in Russian).

7 Ponomarev K.K. Sostavlenie differentsial'nykh uravnenii [Preparation of differential equations] Minsk, Higher school, 1973. 558 p. (in Russian)

8 Strekalov A.V. Elektromagnitnye polya I volny [Electromagnetic fields and waves] Moscow, RIOR, INFRA-M, 2014. 375 p. (in Russian)

9 Shamin A.E., Novikova G.V., Ziganshin B.G. Technology of processing fur raw material. *Vestnik KazGAU* [Proceedings of the Kazan state agrarian University] 2017. no 3(45). pp. 61–67. (in Russian)

10 Shamin A.E., Ziganshin B.G., Novikova G.V. Development of microwave dryer for fur raw materials. *Vestnik KazGAU* [Proceedings of the Kazan state agrarian University] 2017. no 3(45). pp. 86–90.

11 Komlatskii V.I., Loginov S.V. *Effektivnoe krolikoodstvo* [Effective rabbit breeding. – Krasnodar] Krasnodar, Kubsau, 2013. 224 p.

12 Opisaniye sposoba snyatiya pukha [Description of the method for removing fluff for felt production from skins of rabbits and hares] Available at: <http://www.findpatent.ru/patent/4/40499.html>. (in Russian)

13 Sposob mikrobiologicheskoi obrabotki [Method of microbiological treatment of cellulose-containing raw materials] <http://www.findpatent.ru/patent/3/35319.html>. (in Russian)

14 Tao Y.R. Studies on quality rex rabbit fur. *World Rabbit Science*. 1994. no. 2(1). pp. 21–24.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Евгений А. Шамин** к.э.н., доцент, и.о. директора филиала «Институт пищевых технологий и дизайна», Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, ул. Октябрьская, 22, г. Княгинино, 606340, Россия, [evg.shamin4@gmail.com](mailto:evg.shamin4@gmail.com)

**Галина В. Новикова** д.т.н., профессор, главный научный сотрудник, Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, ул. Октябрьская, 22, г. Княгинино, 606340, Россия, [NovikovaGalinaV@yandex.ru](mailto:NovikovaGalinaV@yandex.ru)

**Марьяна В. Белова** д.т.н., научный сотрудник, Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, ул. Октябрьская, 22, г. Княгинино, 606340, Россия, [maryana\\_belova\\_803@mail.ru](mailto:maryana_belova_803@mail.ru)

**Ольга В. Михайлова** д.т.н., профессор, кафедра инфокоммуникационных технологий и систем связи, Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, ул. Октябрьская, 22, г. Княгинино, 606340, Россия, [ds17823@yandex.ru](mailto:ds17823@yandex.ru)

#### КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

**Евгений А. Шамин** предложил методику проведения экспериментов и организовал проведения предварительных исследований на базе кролиководческого хозяйства.

**Галина В. Новикова** предложила конструктивное исполнение установки и ее описание, несет ответственность за плагиат.

**Марьяна В. Белова** провела обзор литературных источников по исследуемой проблеме.

**Ольга В. Михайлова** выполнила расчеты по обоснованию параметров резонаторной камеры сверхвысокочастотной установки, корректировала рукопись.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 19.01.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 19.02.2018

15 Petersen A. The influens of feeding on the chemical composition of carcasses and on pelt quality in the castor rex rabbit. *World Rabbit Science*. 1995. no. 3(3). pp. 141–145.

16 Allain D., Rochambeu H., Vrillon J. The inheritance of wool quantity and live weight in the French Angora rabbit. *Animal Science*. 1999. no. 68. pp. 441–447.

17 Colin M. Rabbit production in east European countries. *World Rabbit Science*. 1993. no. 1. pp. 37–52.

18 Herrmann S., Lange K. Characteristics of angora rabbit fibre. *World Rabbit Science*. 1996. no. 4. pp. 155–158.

19 Derkanosova A.A. Analysis of the prospects of production of domestic feed preparations. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2012. no. 2. pp. 194–196. (in Russian).

#### INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Evgene A. Shamin** Cand. Sci. (Econ.), associate professor, acting Director of branch "Institute of food technologies and design", Nizhny Novgorod state engineering-economic University, Oktyabrskaya, 22, Knyaginino, Nizhny Novgorod region, 606340, Russia, [evg.shamin4@gmail.com](mailto:evg.shamin4@gmail.com)

**Galina V. Novikova** Dr. Sci. (Engin.), professor, lead researcher, Nizhny Novgorod state engineering-economic University, Oktyabrskaya, 22, Knyaginino, Nizhny Novgorod region, 606340, Russia, [NovikovaGalinaV@yandex.ru](mailto:NovikovaGalinaV@yandex.ru)

**Mariana V. Belova** Dr. Sci. (Engin.), researcher, Nizhny Novgorod state engineering-economic University, Oktyabrskaya, 22, Knyaginino, Nizhny Novgorod region, 606340, Russia, [maryana\\_belova\\_803@mail.ru](mailto:maryana_belova_803@mail.ru)

**Olga V. Mikhailova** Dr. Sci. (Engin.), professor, infocommunication technologies and communication systems department, Nizhny Novgorod state engineering-economic University, Oktyabrskaya, 22, Knyaginino, Nizhny Novgorod region, 606340, Russia, [ds17823@yandex.ru](mailto:ds17823@yandex.ru)

#### CONTRIBUTION

**Evgene A. Shamin** proposed a method for carrying out experiments and organized the preliminary research based on rabbit farms.

**Galina V. Novikova** proposed construction installation and described it, is responsible for the plagiarism.

**Mariana V. Belova** conducted a review of the literature on an investigated problem.

**Olga V. Mikhailova** performed calculations on the substantiation of parameters of the resonator chamber microwave installation, corrected the manuscript.

#### CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 1.19.2018

ACCEPTED 2.19.2018